

Desarrollo de una herramienta en Excel para diseño de conexiones precalificadas de acero para sistemas de marcos especiales (SMF) e intermedios (IMF) según el Código Sísmico de Costa Rica 2010



Abstract

Historically, to achieve security and proper functioning of the civil works, certain design codes have been established. In the specific case of seismic codes, it aims to be a guide for building construction with the ability to withstand earthquakes without reaching collapsing, but with the possibility of repairing or evacuate the building in a reasonable time.

Earthquakes in the United States as the Loma Prieta in 1989 and the Northridge in 1994 showed the flaws in the existing connections of the buildings of the time, so this helped to invest in the develop of a solution.

The steel connections seek to be part of that solution to reassure security for the users of a building, so that it develops different types of connections to obey needs of each building system.

The Excel spreadsheet developed seeks to help the design of five pre-qualified connections in hot-rolled steel, this connections had been verified by the design methods of the AISC in a way that there are official documents that shows in analytical way the limitations of each connection

The connections for this project are: reduced beam section, bolted flange plate, welded unreinforced flange-welded, bolted unreinforced and reinforced extended end plate connections.

The Excel spreadsheet takes into account different criteria and limit states for each connection, such as creep resistance in plates, shear strength and moments in beams.

At the same time also the construction plans were prepared from a prototype didactic model, intended as a guide so that future generations can learn from these connections.

Key Words: design, steel connections, prequalified, construction plans.

Resumen

Históricamente, para lograr la seguridad y buen funcionamiento de las obras civiles se han creado los códigos de diseño. En el caso específico de los códigos sísmicos, su objetivo es ser una guía para la construcción de edificios con la habilidad de soportar terremotos sin que se alcance el colapso de la estructura, pero que aun así el edificio pueda ser reparado o desalojado en un tiempo prudente.

Sismos en Estados Unidos como el de Loma Prieta en 1989 junto al de Northridge de 1984 evidenciaron las fallas en las conexiones existentes de los edificios de la época, por lo que se invirtieron recursos en el desarrollo de una solución. Las conexiones en acero buscan ser parte de esa solución de darles seguridad a los usuarios de un edificio, por lo que se desarrollaron diferentes tipos de conexiones que obedecen a necesidades de cada sistema constructivo. La hoja de Excel elaborada en este proyecto busca ayudar al diseño de cinco conexiones precalificadas, las cuales han sido certificadas en forma confiable por el AISC, de forma que existen documentos que demuestran analíticamente las limitaciones de cada conexión. Las conexiones diseñadas en este proyecto son: Conexión de sección de viga reducida, Conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada, Conexión de placa extrema empernada rigidizada y sin rigidizar y Conexión de placa de ala empernada.

La hoja de Excel toma en cuenta diferentes criterios y estados límites para cada conexión, como lo es la resistencia a fluencia en placas, resistencia a cortante y momentos en vigas. A la vez también se confeccionó los planos constructivos de un prototipo de modelo didáctico de las conexiones precalificadas, que se pretende que sea una guía para que futuras generaciones puedan aprender de este tipo de conexiones.

Palabras clave: diseño, acero, conexiones, precalificas, Planos.

Desarrollo de una herramienta en Excel para diseño de conexiones precalificadas de acero para sistemas de marcos especiales (SMF) e intermedios (IMF) según el Código Sísmico de Costa Rica 2010

LUIS DANIEL BRICEÑO GONZÁLEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de licenciatura en
Ingeniería en Construcción

OCTUBRE 2012

Contenido

Prefacio.....	5
Resumen ejecutivo	6
Introducción	8
Metodología	9
Resultados.....	26
Análisis de los resultados	38
Conclusiones	39
Apéndices	40
Anexos.....	42
Referencias.....	47

Prefacio

Existen diferentes tipos de conexiones en acero de viga columna que son capaces de ofrecer un buen rendimiento estructural. Las conexiones utilizadas en marcos no arriostrados son conocidas como conexiones precalificadas, donde se cuenta con información experimental para asegurar que la conexión presenta una adecuada deformación plástica.

Por medio de la comparación de la herramienta con guías de diseño, se pudo comprobar que la hoja de cálculo funciona correctamente para el diseño de la conexión de ala empernada rigidizada y sin Rigidizador y para la conexión de sección de viga reducida.

En nuestro país han ocurrido eventos sísmicos de gran importancia, como el de Cinchona y mas recientemente el de Nicoya, por lo que nuestro código tomó las medidas correspondientes para cambiar y así evitar futuros desastres en las construcciones. El objetivo de la herramienta digital es ayudar con el diseño de esas conexiones precalificadas de acero.

Agradezco profundamente a mi profesor guía, el Ing. Gustavo Rojas, por su guía y apoyo a través del proyecto, a mi familia, amigos y a mis compañeros de ingeniería quienes con sus críticas y comentarios positivos me ayudaron a seguir adelante con el proyecto.

Resumen ejecutivo

En los años 60 en Estados Unidos se empezaron a considerar las soldaduras en marcos resistentes a momento como un sistema muy dúctil. Muchos ingenieros creían que los edificios de marcos de acero eran muy resistentes a terremotos, y que en caso de que eso ocurriera estarían limitados a la ductilidad de los miembros y conexiones estructurales. El colapso producido por un terremoto no se creía posible.

En 1994, con el terremoto de Northridge, California, varios edificios de marcos de acero resistentes a momentos sufrieron principalmente fracturas en las conexiones viga-columna (ver Figura 1).

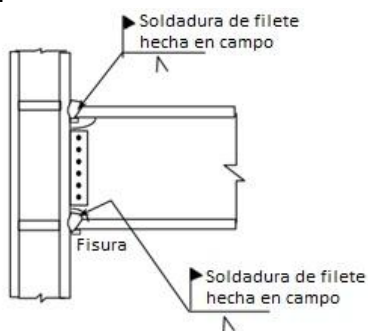


Figura 1. Soldadura típica en una conexión en acero resistente a momento antes de 1994 (tomado de FEMA 350)

Los edificios dañados variaban desde obras de un piso hasta de 26, y con edades de más de 30 años hasta edificaciones con menos de 1 año.

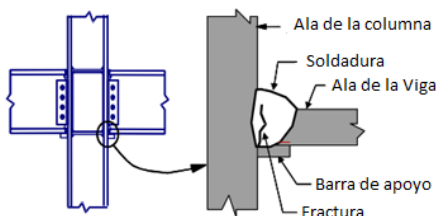


Figura 2. Zona común de fractura, conexión viga columna (tomado de FEMA 350)

En los siguientes años, el FEMA (Federal Emergency Management Agency) junto al AISC y el AWS, determinaron que los esfuerzos más severos de la conexión ocurrieron en donde la viga se une a la columna. Desafortunadamente, ese punto es también el punto más débil de la conexión; en ese punto los momentos flectores y las fuerzas cortantes en la viga deben ser transferidas a la columna a través de la acción combinada de las juntas soldadas entre las alas de las vigas y las alas de las columnas.

Con base en esta investigación se determinaron diferentes tipos de conexiones que son capaces de ofrecer un buen rendimiento en diferentes sistemas estructurales. Estas conexiones utilizadas en pórticos no arriostrados son conocidas como conexiones precalificadas, donde existe diferente información experimental para asegurar que la conexión presenta una adecuada deformación plástica.

El proyecto es de vital importancia para poder darle una herramienta más en el diseño seguro a las edificaciones en acero, por lo que la Escuela de Ingeniería en Construcción se vería beneficiada, esto porque la hoja de Excel será de libre acceso a los estudiantes, de forma que puedan servir de referencia para otros proyectos relacionados al tema de diseño en acero.

El proyecto corresponde al desarrollo de una herramienta digital cuya función es diseñar estructuralmente cinco conexiones precalificadas, las cuales están estipuladas en el anexo B del código sísmico de Costa Rica 2010.

La herramienta tomó en cuenta diferentes tipos de aceros, pernos, soldaduras y perfiles estructurales de acero laminado en caliente al momento del diseño.

En aras de verificar el funcionamiento correcto de la herramienta, se diseñó tres conexiones: la conexión de sección de viga reducida, la conexión de placa emperrada rigidizada y la de placa emperrada sin rigidizar, y los datos obtenidos se compararon con una guía de diseño de viga de sección reducida del

consejo educativo de acero estructural (SSEC) y con la guía de diseño # 4 del AISC. Se calculó los porcentajes de error, y estos se encuentran entre del 0 al 2 %.

Paralelamente se confeccionó los planos constructivos de una propuesta de prototipo de modelo académico, el cual consiste en una columna de 2 metros de altura empotrada a un pedestal de concreto con una placa base, que cuenta con las cinco conexiones precalificadas.

Introducción

El proyecto corresponde al desarrollo de una herramienta digital cuya función es diseñar estructuralmente cinco conexiones precalificadas, las cuales están estipuladas en el anexo B del código sísmico de Costa Rica 2010.

La herramienta toma en cuenta diferentes tipos de aceros, pernos, soldaduras y perfiles estructurales de acero laminado en caliente al momento del diseño.

En aras de verificar el funcionamiento correcto de la herramienta, se diseñaron tres conexiones: la conexión de sección de viga reducida, la conexión de placa empernada rigidizada y la de placa empernada sin rigidizar, y los datos obtenidos se compararon con la guía de diseño de conexiones RBS y la del # 4 del AISC. Se calcularon los porcentajes de error, y estos se encuentran entre del 0 al 2%.

Paralelamente se confeccionó los planos constructivos de una propuesta de prototipo de modelo académico, el cual consiste en una columna de 2 metros de altura empotrada a un pedestal de concreto con una placa base, que cuenta con las cinco conexiones precalificadas.

Objetivo General:

Desarrollar una herramienta en Excel que sea capaz de diseñar conexiones precalificadas en acero para sistemas de marcos sismorresistentes estipulados en el CSCR-10.

Objetivos Específicos:

1. Investigar las diferentes conexiones precalificadas en acero laminado en caliente como RBS (Conexión de sección de viga reducida), WUF-W (Conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada) en los marcos especiales y BUEEP, BSEEP (Conexión de placa extrema empernada rigidizada y sin rigidizar respectivamente) y BFP (Conexión de placa de ala empernada) para marcos intermedios.
2. Diseñar los diferentes algoritmos para el diseño de las conexiones precalificadas.
3. Diseñar un herramienta digital en Excel que diseñe las conexiones precalificadas.
4. Comparar el diseño de 3 conexiones según la guía de diseño de conexiones RBS y la del AISC #4 con la herramienta digital en Excel.
5. Realizar las recomendaciones necesarias para la confección de un prototipo de un modelo didáctico de las conexiones precalificadas y para futuras mejoras de la hoja de Excel.

Metodología

El apéndice presenta la simbología y un glosario con los términos utilizados en las siguientes ecuaciones y procedimientos redactados.

Procedimientos de diseño de la conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (WUF-W)

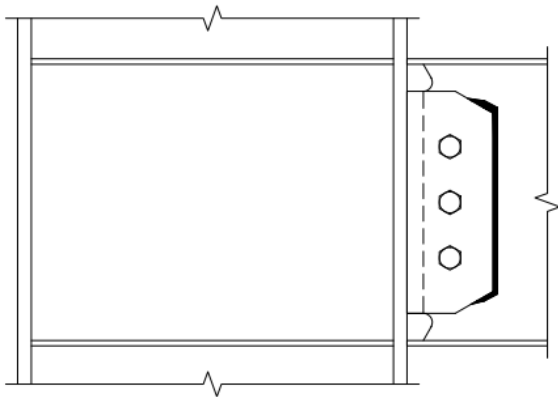


Figura 3 Conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (WUF-W) (Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

Esta conexión consiste en la unión de la viga y la columna por medio de una placa que se conecta por soldadura de penetración en el ala de la columna. La rotación inelástica se desarrolla principalmente en la cara de la columna. Los pernos en la conexión participan únicamente en el montaje y no ayudan a la capacidad de cortante. (Código Sísmico de Costa Rica, 2010)

Cuadro 1 Parámetros generales de la conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (WUF-W)

General	
Sistema de marco aplicable	SMF, IMF
Ubicación de la rótula plástica "S _n "	S _n =0
Limitaciones de la viga	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	224 kg/m(140lb/pie)
Grosor máximo de alas (t _{bf})	25mm (1pulg)
Razón entre el claro y peralte	SMF : ≥ 7
	IMF: ≥ 5
Limitaciones de la columna	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	No hay
Grosor máximo de alas (t _{bf})	No hay
Relación ancho-grosor	$\frac{t}{b} < 0.30 \sqrt{E/F_y}$

Fuente: FEMA 350, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings

Paso #1

Determinar el momento máximo probable en la rótula plástica de la conexión M_{pr} . Se debe usar la siguiente ecuación:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y Z_e F_y \quad \text{ec. (1)}$$

Donde Z_e se debe tomar como el Z_x de la viga y $C_{pr}=1.4$ para conexiones WUF-W

Paso #2

Se debe determinar la ubicación de la rótula plástica, en este caso se usa $S_h=0$

Paso #3

Se determina el cortante en la rótula plástica V_h en cada lado de la viga, el cual corresponde al cortante último en la ubicación de la rótula plástica (S_h)

Paso #4

Se debe verificar la relación viga-columna de la conexión. En este caso, como la conexión se utiliza para sistemas de marcos especiales (SMF), se debe cumplir con la siguiente relación:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad ec. (2)$$

Donde:

$$\sum M_{pb}^* = \sum (M_{pr} + M_{uv}) \quad ec. (3)$$

$$M_{uv} = V_h(d_c/2) \quad ec. (4)$$

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c(F_{yc} - P_{uc}/A_g) \quad ec. (5)$$

El valor de M_{pr} será el que ha sido determinado en el paso #1, y el valor de V_h es calculado en el paso #3

Paso #5

Se debe verificar la resistencia del cortante en la viga, para esto se compara diferentes cortantes último de diseño (por la metodología LRFD) V_u , de forma que se calculan con las siguientes combinaciones:

Cuadro 2 Combinaciones de carga a utilizar	
Combinación de diseño	Referencia
CU1=1.4 CP	Capitulo 6.2 del CSCR 2010
CU2=1.2CP + 1.6 f_R CT + 1.6 CE	
CU3=1.05 CP + $f_1 f_R$ CT \pm CS + CE	
CU4=0.95CP \pm CS + CE	

Fuente: Código sísmico de Costa Rica 2010

Luego de calcular el V_u por cada combinación, se compara con el máximo valor entre V_{h1} y V_{h2} obtenidos en el paso #3.

$$V_u \leq \max(V_{h1}, V_{h2}) \quad ec. (6)$$

Paso #6

Por último, se comprueba el requerimiento de placas de continuidad, para esto se debe revisar la siguiente relación en caso de que la sección sea laminada o a partir de placas:

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad ec. (7)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad ec. (8)$$

En caso de que no se cumpliera la ecuación 7 u 8, se requiere colocar las placas de continuidad. De ser requerido, se debe analizar si la conexión solo tiene un extremo o si tiene dos extremos. Si la conexión tiene un solo lado, el ancho de placa debe ser mayor o igual a un medio del "t" de la viga. Si la conexión tiene dos extremos, el ancho de la placa debe ser mayor o igual a dos veces el "t" de la viga.

Procedimientos de diseño de la conexión de sección reducida de viga (RBS)

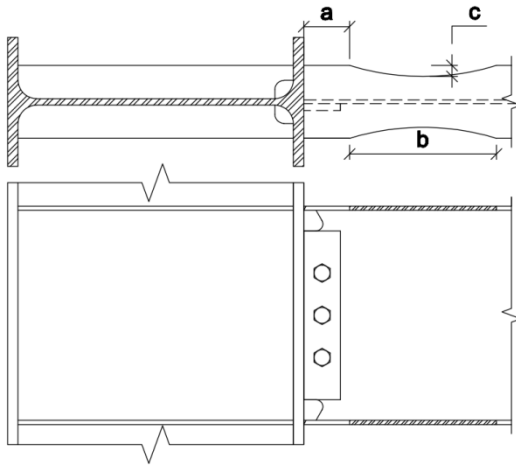


Figura 4 Conexión de sección de viga reducida (RBS)
(Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

Esta conexión consiste en la unión de la viga y la columna por medio de una placa sencilla de cortante, la cual va conectada al ala de la columna. En las alas de la columna se le recortan una sección de forma tal que se forma la rotula plástica en la sección reducida de la viga.

Cuadro 3 Parámetros generales de la conexión de sección reducida de viga (RBS)	
General	
Sistema de marco aplicable	SMF, IMF
Ubicación de la rótula plástica “ S_h ”	$S_h = a + \frac{b}{2}$
Limitaciones de la viga	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	447 kg/m (300lb/pie)
Grosor máximo de alas (t_{bf})	44mm (1¾pulg)
Razón entre el claro y peralte	SMF : ≥ 7
	IMF : ≥ 5
Limitaciones de la columna	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	No hay
Grosor máximo de alas (t_{bf})	No hay
Relación ancho-grosor	$\frac{t}{b} < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Fuente: FEMA 350, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings

Paso #1

Debe escoger los valores de prueba para las dimensiones de reducción de la viga de forma que esté restringido a los siguientes parámetros:

$$0.5 b_{bf} \leq a \leq 0.75 b_{bf} \quad ec. (9)$$

$$0.65 d \leq b \leq 0.85 d \quad ec. (10)$$

$$0.1 b_{bf} \leq c \leq 0.25 b_{bf} \quad ec. (11)$$

Donde:

a= distancia horizontal desde la cara de la columna hasta el inicio del corte de la viga de sección reducida (RBS).

b= longitud del corte.

c= profundidad del corte en el centro de la RBS.

Paso #2

Se debe calcular el módulo de sección plástico en el centro de la conexión, con la siguiente ecuación:

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 c t_{bf} (d - t_{bf}) \quad ec. (12)$$

Paso #3

Calcule el momento máximo probable M_{pr} , en el centro de la sección reducida:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} \quad ec. (13)$$

Para este caso calcule C_{pr} con la ecuación 14

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} \leq 1.2 \quad ec. (14)$$

Paso #4

Calcule la fuerza cortante en el centro de la sección reducida para cada extremo de la viga, obteniendo dos valores de V_{h1} y V_{h2} . Debe asumir además las combinaciones del capítulo 6-2 del CSCR.

Paso #5

Calcule el momento máximo probable en la cara de la columna:

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h ; V_{RBS} = \max(V_{h1}, V_{h2}) \quad ec. (15)$$

Donde:

M_f =momento máximo en la cara de la columna (kN-m).

S_h = distancia desde la cara de la columna hasta la rótula plástica.

$S_h = a + b/2$ (mm).

Paso #6

Calcule el momento plástico en la viga con base en el esfuerzo de fluencia esperado:

$$M_{pe} = R_y F_y Z_x \quad ec. (16)$$

Paso #7

Verifique la resistencia de flexión de la viga en la cara de la columna usando:

$$M_f \leq \phi_d M_{pe} ; \phi_d = 1 \quad ec. (17)$$

En caso de que la ec.(17) no se cumpla, se deben ajustar los valores de "a", "b" y "c" o cambiar las secciones de la viga y/o columna y repetir los pasos del #2 hasta el #7

Paso #8

Determine el esfuerzo requerido V_u de la viga y de la conexión entre el alma de la viga y la columna

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{Lh} + V_{gravitacional} \quad ec. (18)$$

$$V_u \leq \phi_v V_n ; \phi_v = 0.75 \quad ec. (19)$$

Cuando

$$\frac{h}{t} \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} \quad use \quad V_n = 0.6 F_y A_w \quad ec. (20)$$

$$\frac{418}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t} \leq \frac{523}{\sqrt{F_y}} \quad use \quad V_n = \frac{0.6 F_y A_w 418 h t_w}{\sqrt{F_y}} \quad ec. (21)$$

$$\frac{523}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 260 \quad use \quad V_n = \frac{13200 A_w}{(h t_w)^2} \quad ec. (22)$$

$$A_w = d t_w \quad ec. (23)$$

En la ec. 18 hasta la ec 23 el esfuerzo de fluencia F_y , y las demás propiedades geométricas como h , t_w , y A_w se calculan en unidades imperiales (libra- pulgadas).

Paso #9

Debe diseñar la conexión entre el alma de la viga y el ala de la columna. Para sistemas de marcos especiales (SMF) e intermedios (IMF) se usa una placa para resistir el cortante que sea mayor a 10mm (3/8 pulg). El Vu de diseño es el mismo de la ec.19.

Debe escoger valores de pruebas para la conexión valores de prueba, para “a”, “b” y “c” según figura 4. Luego seleccionar un número “n” de pernos, y el grosor de la placa “t_{ps}”.

Se debe cumplir el siguiente cuadro:

Cuadro 4 Estados límites para la conexión apernada entre el alma de la viga y el ala de la columna	
Estados límites	Ecuación
Resistencia cortante de perno	$R_n = nR_{bs}$
Aplastamiento del agujero	$R_n = \min(1.2 l_c t_{ps} F_u, 2.4 d t_{ps} F_u)$
Ruptura de placa	$R_n = 0.6 F_u A_{nv}$
Fluencia de placa	$R_n = 0.6 F_y A_{gv}$
Bloque cortante	$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$ $\leq 0.60 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$

Fuente: propia

Paso #10

Se comprueba el requerimiento de *placas de continuidad*, para esto se debe revisar la siguiente relación en caso de que la sección sea laminada o a partir de placas:

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad ec. (24)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad ec(25)$$

En caso de que no se cumpliera la ecuación 24 u 25 se requiere colocar las placas de continuidad. De ser requeridas, se debe analizar si la conexión solo tiene un extremo o si tiene dos extremos. Si la conexión tiene un solo lado, el ancho de placa debe ser mayor o igual a un medio del “t” de la viga. Si la conexión tiene dos extremos, el ancho de la placa debe ser mayor o igual a dos veces el “t” de la viga.

Paso #11

Se debe revisar la relación entre viga-columna, en caso de que sea un sistema de marcos especiales (SMF), se debe cumplir con la siguiente relación:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad ec. (26)$$

Donde:

$$\sum M_{pb}^* = \sum (M_{pr} + M_{uv}) \quad ec. (27)$$

$$M_{uv} = V_{RBS} \left(a + \frac{b}{2} + \frac{d_c}{2} \right) \quad ec. (28)$$

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc} / A_g) \quad ec. (29)$$

El valor de M_{pr} será el que ha sido determinado en el paso #3, y el valor de V_{RBS} es calculado en el paso #5.

Procedimientos de diseño de la conexión de placa emperrada (BPF)

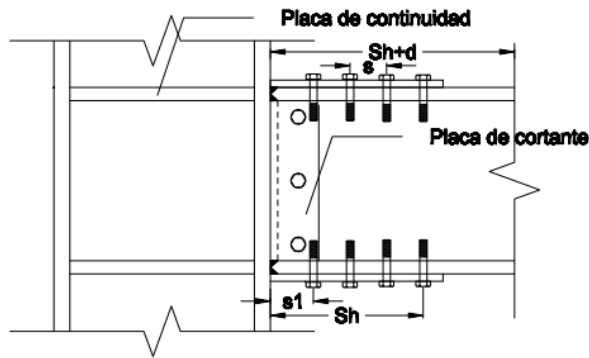


Figura 5 Conexión de placa emperrada (BFP) (Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

En esta conexión se une la viga a la columna con placas soldadas a las alas de la columna y emperradas a las de las vigas. Las placas del ala superior e inferior deben ser igual y estar conectadas por soldadura de penetración completa.

Cuadro 5 Parámetros generales de la conexión placa emperrada (BFP)	
General	
Sistema de marco aplicable	SMF, IMF
Ubicación de la rótula plástica "S _n "	$S_h = S_1 + S(\frac{n}{2} - 1)$
Limitaciones de la viga	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	224 kg/m(150lb/pie)
Grosor máximo de alas (t _{bf})	25mm (1pulg)
Razón entre el claro y peralte	SMF : ≥ 9
	IMF: ≥ 7
Limitaciones de la columna	
Peralte máximo	W 920mm (W36) y si hay un entrepiso de concreto W360mm(W14)
Peso máximo	No hay
Grosor máximo de alas (t _{bf})	No hay
Relación ancho-grosor	$\frac{t}{b} < 0.30 \sqrt{E/F_y}$
Limitaciones de la placa	
Tipo de acero	ASTM A36 o A572 (Gr 50)
Tipo de pernos	ASTM A490 o F2290
Tamaño máximo	28mm (1 1/8 pulg)

Fuente: FEMA 350, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings

Paso #1

Calcule el momento máximo en la rótula plástica, M_{pr} .

$$M_{pr} = C_{pr} R_y Z_e F_y \quad ec. (30)$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2 \quad ec. (31)$$

Paso #2

Calcule el diámetro máximo del perno, para prevenir la ruptura por tensión del ala de la viga. Para agujeros estándar con dos filas utilice:

$$d_b \leq \frac{b_f}{2} \left(1 - \frac{R_y F_y}{R_t F_u} \right) - 3mm \left(\frac{1}{8} \text{ pulg} \right) \quad ec. (32)$$

Seleccione un diámetro para el perno y revise la distancia entre pernos. Para los agujeros en el ala de la viga, se debe satisfacer la distancia de borde "Lc".

Cuadro 6			
Distancia mínima de espaciamiento entre el perno y el borde (Lc)			
Diámetro del perno		Distancia mínima	
16(mm)	½ (pulg)	22 (mm)	¾ (pulg)
20	5/8	26	7/8
22	¾	28	1
24	7/8	30	1 1/8
27	1	34	1 ¼
30	1 1/8	38	1 ½
36	1 ¼	46	1 5/8
>36	>1 ¼	1.25 d	1 ¼ d

Fuente: AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

Paso #3

Debe asumir un grosor de placa para el ala de las vigas, "tp", luego debe estimar el ancho de la placa b_{tp} , considerando el diámetro de los pernos, los requerimientos de distancia de borde lc y el ancho del ala de la viga. Determine el cortante nominal por perno considerando la falla por cortante y aplastamiento:

$$R_n = \begin{cases} 1.0 F_{nv} A_b \\ 2.4 F_{ub} d_b t_f \\ 2.4 F_{up} d_b t_p \end{cases} \quad ec. (33)$$

Donde:

A_b = área nominal del perno sin la zona enroscada mm^2 (in^2).

F_{nv} = resistencia nominal al cortante del perno (MPa) (ver Tabla J 3.2) AISC 360.

F_{ub} = esfuerzo de ruptura mínima de la viga (MPa).

F_{up} = esfuerzo de ruptura mínimo de la placa (MPa).

d_p = diámetro nominal del perno (mm).

Paso #4

Determine el número de pernos requeridos:

$$n \geq \frac{1.25 M_{pr}}{\phi_n r_n (d + tp)} ; \phi_n = 0.9 \quad ec. (34)$$

Paso #5

Determine la localización de la rótula plástica, Sh

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \quad ec. (35)$$

El espaciamiento entre pernos "s" y la distancia al borde deben ser lo suficientemente largos para asegurar que "Lc" sea mayor a 2 el diámetro del perno.

$$s + L_c \geq 2 d_b \quad ec. (36)$$

Paso #6

Calcule la fuerza cortante en la rótula plástica de la viga en cada extremo de la viga, tomando en cuenta la combinación del cuadro 2.

Paso #7

Calcule el momento esperado en la cara de la columna:

$$V_h = \max(V_{h1}, V_{h2}) \quad ec. (37)$$

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h \quad ec. (38)$$

La ec. 38 deja por fuera la carga gravitacional en la porción que se encuentra la rótula plástica y la cara de la columna.

Paso #8

Calcule la fuerza en la placa debido a M_f , usando:

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)} \quad ec. (39)$$

Paso #9

Verifique que el número de pernos para la conexión sea adecuado:

$$n \geq \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n} ; \quad \phi_n = 0.9 \quad ec. (40)$$

r_n = resistencia a cortante del perno.

Paso #10

Verifique si el grosor de la placa asumida en el paso 3 es adecuada:

$$t_p \geq \frac{F_{pr}}{\phi_d F_y b_{fb}} \quad ec. (41)$$

Paso #11

Verifique que la placa no falle por ruptura por tensión:

$$A_e = 0.85 A_n \quad ec. (42)$$

$$R_n = F_u A_e \quad ec. (43)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n ; \quad \phi_n = 0.75 \quad ec. (44)$$

Paso #12

Verificación por bloque cortante:

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + F_u A_{nt} \quad ec. (45)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n ; \quad \phi_n = 0.75 \quad ec. (46)$$

Paso #13

Verificación por pandeo de la placa de ala:

Para un $\frac{kL}{r} \leq 25$

$$R_n = F_y A_g \quad ec. (47)$$

$$F_{pr} \leq \phi_n R_n ; \quad \phi_n = 0.9 \quad ec. (48)$$

Para un $\frac{kL}{r} > 25$

Se calcula el F_e , esfuerzo elástico de pandeo:

$$F_e = \frac{\pi E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad ec. (49)$$

y luego se calcula la resistencia a pandeo. El “k” a utilizar es de 1.

Cuando $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$ se calcula el esfuerzo crítico como:

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y \quad ec. (50)$$

Cuando $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$ se calcula el esfuerzo crítico como:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad ec. (51)$$

$$R_n = F_{cr} A_g \quad ec. (52)$$

$$F_{pr} \leq \phi R_n ; \quad \phi = 0.85 \quad ec. (53)$$

Donde kL puede ser tomado como $0.65 S_1$ y el radio de giro “r” para una placa de dimensiones “b” por “h” se calcula como:

$$r = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad ec. (54)$$

Paso #14

Determine el V_u requerido para la viga y el de la conexión entre el alma de la viga y la columna:

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{Lh} + V_{gravitacional} \quad ec. (55)$$

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad ec. (56)$$

Cuando

$$\frac{h}{t} \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} \quad use \quad V_n = 0.6 F_y A_w \quad ec. (57)$$

$$\frac{418}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t} \leq \frac{523}{\sqrt{F_y}} \quad use \quad V_n = \frac{0.6 F_y A_w 418 h t_w}{\sqrt{F_y}} \quad ec. (58)$$

$$\frac{523}{\sqrt{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 260 \quad use \quad V_n = \frac{13200 A_w}{(h t_w)^2} \quad ec. (59)$$

$$A_w = d t_w \quad ec. (60)$$

Desde la ec. 57 hasta la 60 el esfuerzo de fluencia F_y y las demás propiedades se calculan en unidades imperiales.

Paso #15

Diseñe la conexión por cortante simple una placa, en la cara de la columna con el V_u calculado en el paso #14. Luego seleccione un número “n” de pernos, el grosor de la placa “ t_{ps} ”.

Se debe cumplir el siguiente cuadro:

Cuadro 5.7 Estados límites para la conexión apernada entre el alma de la viga y el ala de la columna	
Estados límites	Ecuación
Resistencia cortante de perno	$R_n = n F_{nv} A_b$
Aplastamiento del agujero	$R_n = \min(1.2 l_c t_{ps} F_u, 2.4 d t_{ps} F_u)$
Ruptura de placa	$R_n = 0.6 F_u A_{nv}$
Fluencia de placa	$R_n = 0.6 F_y A_{gv}$
Bloque cortante	$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$

Fuente: propia

Paso #16

Se comprueba el requerimiento de *placas de continuidad*, para esto se debe revisar la siguiente relación en caso de que la sección sea lamida o a partir de placas:

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad ec. (61)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad ec(62)$$

En caso de que no se cumpliera la ecuación 61 o 62, se requiere colocar las placas de continuidad. De ser requeridas, se debe analizar si la conexión solo tiene un extremo o si tiene dos extremos. Si la conexión tiene un solo lado, el ancho de placa debe ser mayor o igual a un medio del "t" de la viga. Si la conexión tiene dos extremos, el ancho de la placa debe ser mayor o igual a dos veces el "t" de la viga.

Paso #17

Revise la zona de panel de la conexión, para esto debe determinar la sumatoria de momentos en la cara de las columnas, proyectando los momentos plásticos Mpr en las rotulas plásticas (Sh) correspondientes.

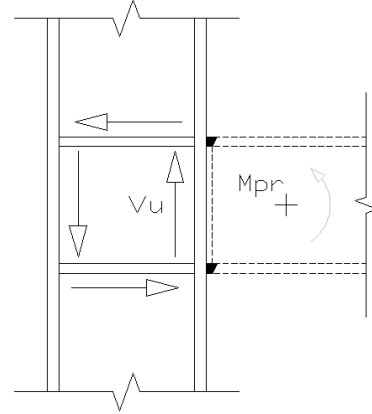


Figura. 6 Zona de panel.(Fuente: propia)

Para la figura 6, se revisa la compresión y tensión en las placas de continuidad (de ser necesarias) de la conexión. También se revisa el cortante en el alma de la columna por la zona de panel.

$$Tó C = \frac{Mu}{(d + t_w)} \quad ec. (63)$$

Para Tensión

$$T \leq 0.90 A_g F_y \quad ec. (64)$$

Para compresión:

Cuando $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$ se calcula el esfuerzo crítico, como:

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y \quad ec. (65)$$

Cuando $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$ se calcula el esfuerzo crítico, como:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad ec. (66)$$

$$R_n = F_{cr} A_g \quad ec. (67)$$

$$F_{pr} \leq \phi R_n ; \phi = 0.85 \quad ec. (68)$$

Para la zona de panel cortante en el alma utilice:

$$Vu \leq \phi R_n ; \phi = 0.90 \quad ec. (69)$$

$$Pc = Py = A_g F_y \quad ec. (70)$$

Para $Vu \leq 0.4 Pc$

$$R_n = 0.6 F_y d c t_w \quad ec. (71)$$

Para $Vu > 0.4 Pc$

$$R_n = 0.4 F_y d c t_w \left(1.4 - \frac{Pr}{Pc}\right) \quad ec. (72)$$

Conexión de placa extrema empernada rigidizada (BSEEP) y sin rigidizar (BUEEP)

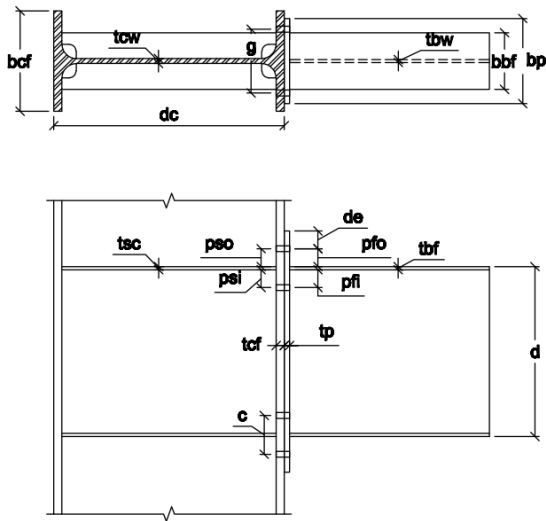


Figura. 7 Conexión de placa extrema empernada sin rigidizar (BUEEP) (Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

Esta conexión consiste en una viga que se une a una columna por medio de una placa vertical que se conecta a través de pernos con las alas de la columna, conectando así la columna, la placa y el final de la viga.

Cuadro 8 Parámetros generales de la conexión placa extrema rigidizada (BSEEP)	
General	
Sistema de marco aplicable	SMF, IMF
Ubicación de la rótula plástica "S _h "	$S_h = L_{st} + t_p$
Limitaciones de la viga	
Peralte máximo	W 610mm (W24)
Peso máximo	ninguno
Grosor máximo de alas (t _{bf})	19mm (¾ pulg)
Razón entre el claro y peralte	SMF : ≥ 7
	IMF: ≥ 5
Limitaciones de la columna	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	No hay
Grosor máximo de alas (t _{bf})	No hay
Relación ancho-grosor	$\frac{t}{b} < 0.30 \sqrt{E/F_y}$
Limitaciones de la placa	
Tipo de acero	ASTM A36 , A572
Tipo de pernos	ASTM A 325, A490 o F2280
Grosor	Entre t _{bf} y (t _{bf} + 25mm)

Fuente: FEMA 350, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings

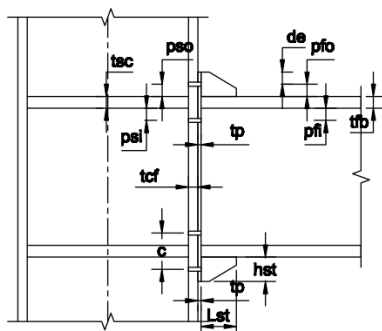
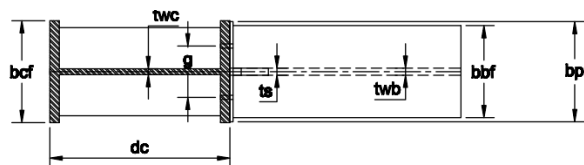


Figura. 8 Conexión de placa extrema rigidizada (BUEEP)
(Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections
for SMF and IMF for seismic applications)

Esta conexión consiste en una viga que se une a una columna por medio de una placa vertical que se conecta a través de pernos con las alas de la columna, conectando así la columna, la placa y el final de la viga. Adicionalmente se le coloca una pieza rigidizadora que se une por medio de soldadura de ranura entre la placa vertical y la columna.

Cuadro 9 Parámetros generales de la conexión placa extrema sin rigidizar (BUEEP)

General	
Sistema de marco aplicable	SMF, IMF
Ubicación de la rótula plástica "S _h "	$S_h = \min(\frac{d}{2}, 3b_{bf})$
Limitaciones de la viga	
Peralte máximo	W 1400mm (W55)
Peso máximo	ninguno
Grosor máximo de alas (t _{bf})	19mm (¾ pulg)
Razón entre el claro y peralte	SMF : ≥ 7 IMF: ≥ 5
Limitaciones de la columna	
Peralte máximo	W 920mm (W36)
Peso máximo	No hay
Grosor máximo de alas (t _{bf})	No hay
Relación ancho-grosor	$\frac{t}{b} < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Limitaciones de la placa	
Tipo de acero	ASTM A36 , A572
Tipo de pernos	ASTM A 325, A490 o F2280
Grosor	Entre t _{bf} y (t _{bf} + 25mm)

Fuente: FEMA 350, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings

Cuadro 10 Limitaciones paramétricas de precalificación				
Parámetro	4 pernos sin rigidizar		4 pernos rigidizado	
	Mínimo mm (pulg)	Máximo mm (pulg)	Mínimo mm (pulg)	Máximo mm (pulg)
t_{bf}	10 (3/8)	19 (3/4)	10 (3/8)	19 (3/4)
b_{bf}	152 (6)	235 (9 1/4)	152 (6)	229 (9)
D	349 (13 3/4)	1400 (55)	349 (13 3/4)	610 (24)
t_p	13 (1/2)	57 (2 1/4)	13 (1/2)	38 (1 1/2)
b_p	178 (7)	273 (10 3/4)	178 (7)	273 (10 3/4)
G	102 (4)	152 (6)	83 (3 1/4)	152 (6)
p_{fi}, p_{fo}	38 (1 1/2)	114 (4 1/2)	14 (5 1/2)	44 (1 3/4)

Fuente: AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications

Rigidizador en la placa de extremo

Se requiere un rigidizador por medio de soldaduras de penetración completa entre el ala de la viga conectada y la placa extrema. La longitud mínima del rigidizador es:

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} \quad ec. (73)$$

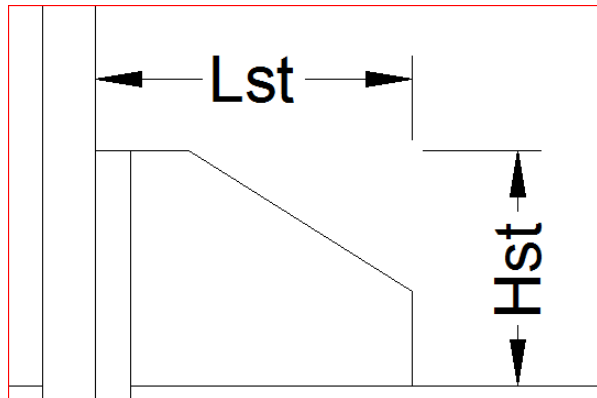


Figura 9. Placa rigidizadora (Tomado de AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications)

La conexión sin rigidizadores será denominada como “4E” y la que tiene una placa rigidizadora es “4ES”.

Diseño de placa extrema y de pernos

Paso # 1

Determine el tamaño de viga y columna a unir y calcule el momento plástico en la cara de columna:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_x \quad ec. (74)$$

$$M_f = M_{pr} + V_u S_h \quad ec. (75)$$

Para tipo 4E utilice:

$$S_h = \min\left(\frac{d}{2}, 3b_{bf}\right) \quad ec. (76)$$

Para tipo 4ES utilice:

$$S_h = L_{st} + t_p \quad ec. (77)$$

Paso # 2

Seleccione una configuración para la conexión, ya sea 4E o 4ES, también asigne los valores correspondientes a su **geometría** (p_{fi} , h_i , p_b , **etc.**) y el tipo de perno a usar.

Cuadro 11 Parámetros de mecanismo de fluencia de la placa de extremo de la conexión BUEEP (4E)	
Geometría y línea de fluencia para la conexión de placa de extremo	Modelo de fuerzas de los pernos
Placa de extremo	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_{fi} + s)]$
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \text{Si } p_{fi} > s ; \text{ use } p_{fi} = s$

Fuente: AISC 358-10, Prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications

Cuadro 12		
Parámetros de mecanismo de fluencia de la placa de extremo de la conexión BSEEP (4ES)		
Geometría y línea de fluencia para la conexión de placa de extremo		Modelo de fuerzas de los pernos
Caso 1 ($d_e \leq s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_{fi} + s) + h_0 (d_e + p_{fo})]$	
Caso 2 ($d_e > s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_{fi} + s) + h_0 (s + p_{fo})]$	
Nota ; $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ Si $p_{fi} > s$; use $p_{fi} = s$		

Fuente: AISC 358-10, prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications

Paso # 3

Determine el diámetro de perno requerido:

$$db_{req'd} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_0 + h_1)}} \quad ec. (78)$$

h1: Distancia desde la línea de centro del ala en compresión de la viga hasta la línea de centro de la fila en tensión de pernos.

h0: Distancia desde la línea de centro del ala en compresión hasta el perno en tensión.

Paso #4

Seleccione un diámetro adecuado para los pernos no menores al requerido en el paso #3.

Paso #5

Determine el grosor de la placa extrema:

$$t_{p_{req'd}} = \sqrt{\frac{1.11 M_{np}}{\phi_d F_{yp} Y_p}} \quad ec. (79)$$

$$M_{np} = 2 F_{nt} A_b (h_0 + h_1) \quad ec. (80)$$

Donde:

Y_p : parámetro de línea de fluencia tomado de las cuadros 11 y 12

ϕ_d : Factor de resistencia para estados límites dúctiles, $\phi_d = 1,00$.

Paso #6

Seleccione un grosor para la placa extrema, que no sea menor al valor obtenido en el paso #5.

Paso #7

Calcule la fuerza factorizada en el ala de la viga:

$$F_{fu} = \frac{M_f}{(d - t_{bf})} \quad ec. (81)$$

Paso #8 (para Conexión 4E)

Verifique en la porción de la placa extrema que no falle por fluencia debido al esfuerzo cortante:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq R_u \quad ec. (82)$$

$$R_u = \phi_d 0.6 F_{yp} b_p t_p \quad ec. (83)$$

b_p : Ancho de la placa extrema (mm).

En caso de que la ecuación 80 no se cumpla, debe aumentar el grosor de la placa.

Paso #9 (Para la conexión 4E)

Verifique en la porción de la placa la ruptura por esfuerzo cortante:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi R_n \quad ec. (84)$$

$$R_n = 0.6 F_{up} A_n \quad ec. (85)$$

$$A_n = t_p [b_p - 2(d_b + 3)] \text{ en mm} \quad ec. (86)$$

En caso de que la ecuación 84 no se cumpla, debe aumentar el grosor de la placa.

Paso #10 (para Conexión 4ES)

Para el rigidizador debe seleccionar un grosor adecuado y diseñar las soldaduras de penetración completa correspondientes.

$$t_s \geq t_{bw} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) \quad ec. (87)$$

Se debe cumplir con la figura tal, y además para prevenir pandeo local del rigidizador, se debe cumplir el siguiente criterio de ancho-grosor:

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad ec. (88)$$

Donde h_{st} es la altura del rigidizador.

Paso #11

Revise la ruptura por cortante del perno en la zona de compresión del ala de la viga ($\phi_n = 0.75$):

$$V_u \leq \phi_n R_n \quad ec. (89)$$

$$R_n = \phi_n (4) F_{nv} A_b \quad ec. (90)$$

Paso #12

Verifique el aplastamiento del perno y la falla por desgarre de la placa de extremo y el ala de la columna ($\phi_n = 0.75$):

$$V_u \leq R_u \quad ec. (91)$$

$$R_u = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad ec. (92)$$

Donde

n_i : número de pernos interiores (2 para la conexión 4E y 4SE).

n_o : número de pernos exteriores (2 para la conexión 4E y 4SE).

$$r_{ni}, r_{no} = 1.2 L_c t F_u < 2.4 d_b t F_u \quad ec. (93)$$

Diseño en la cara lateral de la columna

Paso #1

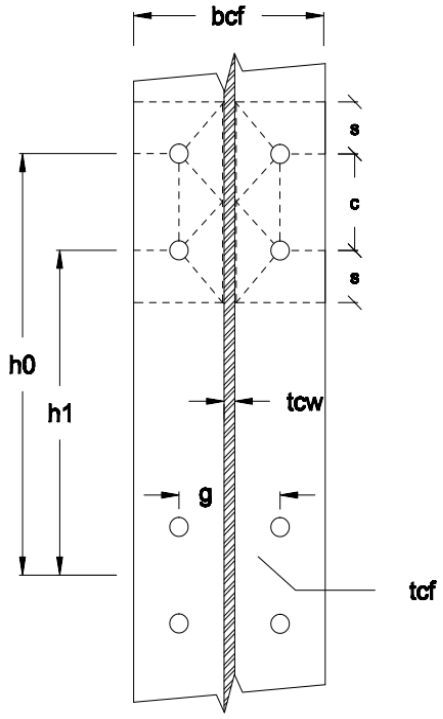
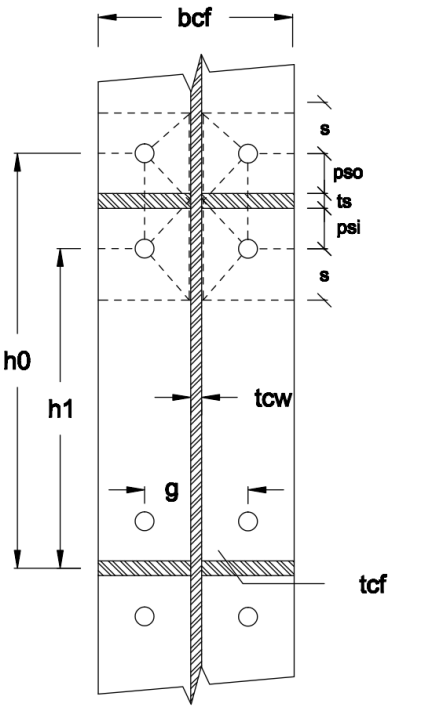
Verifique que la columna no falle por fluencia debido a la flexión en el ala de la columna:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 M_f}{\phi_d F_{yc} Y_c}} \quad ec. (94)$$

Y_c : parámetro de mecanismo lineal de fluencia (ver cuadro 13).

Cuadro 13

Parámetros de mecanismo de fluencia del ala de la columna en la conexión de placa extrema

Sección transversal del alma de la columna sin rigidizar	Sección transversal del alma de la columna con rigidizadores
	
Columna sin rigidizar	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_0 \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$
Columna con rigidizadores	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (s + p_{si}) + h_0 (s + p_{so})]$
<p>Nota ; $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ Si $p_{fi} > s$; use $p_{fi} = s$</p>	

Fuente: AISC 358-10, prequalified connections for SMF and IMF for seismic applications

En caso de que la ecuación 94 no se cumpla, debe aumentar la sección de la columna o añadir placas de continuidad. Si se añade la placa de continuidad, calcule Y_c nuevamente.

Paso #2

En caso de que se requieran placas de continuidad para evitar la fluencia debido a la flexión del ala, debe de determinar la fuerza en el rigidizador.

La resistencia de diseño a flexión del ala de la columna es:

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2 \quad ec. (95)$$

Donde Y_c es el parámetro de mecanismo línea de fluencia sin rigidizar, por lo que la fuerza de diseño corresponde a:

$$F_{su} \leq \phi_d R_n = \phi_d \frac{M_{cf}}{(d - t_{bf})} \quad ec. (96)$$

Paso #3

Verifique la resistencia a fluencia local del alma de la columna, de la columna sin rigidizar:

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n \quad ec. (97)$$

$$R_n = C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) F_{yc} t_{cw} \quad ec. (98)$$

Donde

C_t : corresponde a 0.5 si la distancia entre el tope de la columna y la parte superior de la viga es menor a d_c , caso contrario es 1.

k_c : distancia de la cara exterior de la columna hasta la soldadura del alma.

Si la ecuación 97 no se cumple, es necesario usar placas de continuidad en la columna.

Paso #4

Revise el pandeo local por compresión del alma de la columna con la siguiente ecuación:

$$F_{fu} \leq \phi R_n ; \phi = 0.75 \quad ec. (99)$$

$$h = \left(\frac{h}{t_{cw}} \right) * t_{cw} \quad ec. (100)$$

Quando F_{fu} es aplicado a una distancia mayor a $d_c/2$ desde el tope de una columna, calcule la resistencia nominal como:

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad ec. (101)$$

Quando la fuerza sea aplicada a una distancia menor a $d_c/2$, utilice:

$$R_n = \frac{12 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad ec. (102)$$

Donde " h " es la distancia libre entre las alas. En caso de que no se cumpla la ecuación 99, se requiere colocar placas de continuidad.

Paso #5

Verifique desgarre del alma de la columna sin rigidizar:

$$F_{fu} \leq \phi R_n ; \phi = 0.75 \quad ec. (103)$$

Quando F_{fu} es aplicado a una distancia mayor a $d_c/2$ desde el tope de una columna, calcule la resistencia nominal como:

$$R_n = 0.8 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad ec. (104)$$

Quando F_{fu} es aplicado a una distancia menor a $d_c/2$ desde el tope de una columna, calcule la resistencia nominal como:

Para $\frac{N}{d_c} \leq 0.2$

$$R_n = 0.4 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad ec. (105)$$

Para $\frac{N}{d_c} > 0.2$

$$R_n = 0.4 t_{cw}^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d_c} - 0.2 \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad ec. (106)$$

Donde N corresponde al grosor de las alas de la viga, más dos veces el grosor de la soldadura de filete de la conexión entre la placa de extremo y la columna. En caso de que no se cumpla la ecuación 103, utilice placas de continuidad en la columna.

Paso #6

Quando las placas de continuidad sean necesarias, para cualquiera de los estados límites, el esfuerzo requerido es el siguiente:

$$F_{su} = F_{fu} - \min(\phi R_n) \quad ec. (107)$$

Donde $\min(\phi R_n)$ corresponde al mínimo de las resistencias de nominales obtenidas en los pasos #2, #3, #4 y #5.

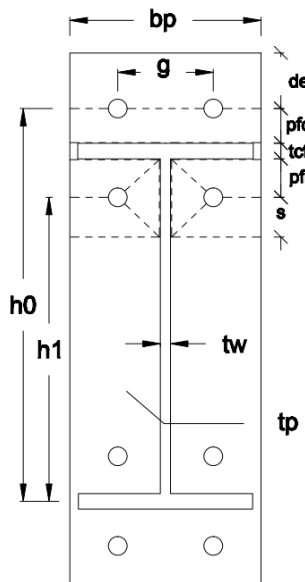
Resultados

A continuación se presentan las características y resultados del diseño de tres conexiones. Se utilizó la guía de diseño número 4 del AISC, y la guía de diseño de RBS como el diseño “de referencia” y la hoja de cálculo desarrollada como diseño “experimental”. El cortante de diseño es de 178 kN para ambas conexiones. La carga para diseño de la conexión RBS es de 29 kN/m y el cortante de diseño es de 636 kN y 467 kN en el lado izquierdo y derecho de la conexión (ver Figura 10).

Cuadro 14 Propiedades de las secciones en la conexión de placa de extremo emperrada sin rigidizar y con rigidizador (BUEEP y BSEEP)			
Secciones de acero		Viga W21 x55	Columna W14x109
Propiedades del acero	Tipo de acero	A 992	A 992
	Fy (MPa)	345	345 a
	Fu (MPa)	450	450
	Ry	1,10	1,10
Propiedades geométricas de sección	d (mm)	528,0	363,0
	t _w (mm)	9,5	13,3
	b _f (mm)	209,0	371,0
	t _f (mm)	13,3	21,8
	Z _x (mm ³ x 10 ³)	2.060,0	3.150,0

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 15 Geometría de la conexión de placa de extremo empernada sin rigidizar (BUEEP)



Dimensiones

b_p (mm)	228,60
g (mm)	139,70
p_{fo} (mm)a	50,80
p_{fi} (mm)	50,80
s (mm)	89,35
d_e (mm)	41,28
h_0 (mm)	572,52
h_1 (mm)	457,71

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 16 Propiedades de la placa de extremo en la conexión BUEEP

Propiedades del acero	Tipo	A 572 Gr 50
	F_y (MPa)	345
	F_u (MPa)	450
	R_y	1,1
Propiedades geométricas de sección	b_p (mm)	228,60
	t_p (mm)	31,75

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 17 Propiedades del perno utilizado en la conexión BUEEP y BSEEP		
Propiedades del perno	Tipo	A 490
	F _{nt} (MPa)	779,13
	F _{nv} (MPa)	413,7
	Diámetro (mm)	31,75

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 18 Comparación entre los resultados de diseño de la placa de extremo entre la guía de diseño del AISC y la hoja de cálculo, conexión BSEEP y BUEEP			
Criterio	Valor de referencia	Valor experimental	Diferencia
Fuerza factorizada en el ala de la viga - F _{fu} (kN)	1761,408	1763,180	0,100%
Resistencia a fluencia debido por esfuerzo cortante (kN)	1352,192	1352,170	0,002%
Resistencia a ruptura debido a esfuerzo cortante (kN)	1014,144	1022,910	0,860%

Fuente: propia

Cuadro 19 Comparación entre los resultados de diseño de pernos entre la guía de diseño del AISC, la hoja de cálculo de la conexión BSEEP y BUEEP			
Criterio	Valor de referencia	Valor experimental	Diferencia
Resistencia a aplastamiento por compresión (kN)	3255	3266,12	0,34%
Resistencia a ruptura debido a esfuerzo cortante (kN)	983	982,62	0,04%

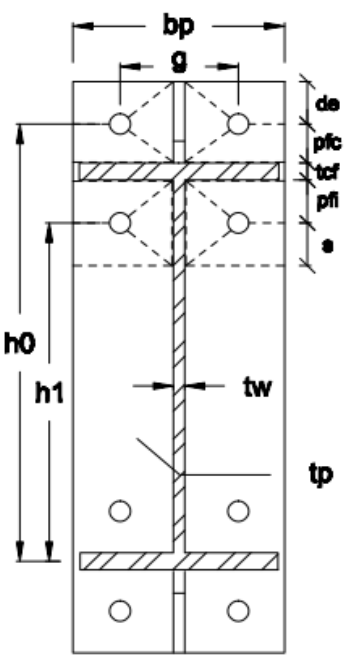
Fuente: propia

Cuadro 20 Comparación entre las resistencias últimas de diseño del lado de la columna entre la guía de diseño del AISC, la hoja de cálculo, conexión BSEEP y BUEEP

Criterio	Valor de referencia	Valor experimental	Diferencia
Flexión de ala de la columna (kN)	1240,99	1238,43	0,21%
Fluencia del alma de la columna (kN)	1374,43	1401,33	1,96%
Pandeo local del alma de la columna (kN)	1467,84	1462,59	0,36%
Desgarre del alma de la columna (kN)	1192,06	1187,83	0,36%

Fuente: propia

Cuadro 21 Geometría de la conexión de placa de extremo emperrada rigidizada (BSEEP)

	Dimensiones	
	b_p (mm)	228,60
	g (mm)	139,70
	p_{fo} (mm)	50,80
	p_{fi} (mm)	50,80
	s (mm)	89,35
	d_e (mm)	41,28
	h_0 (mm)	572,52
	h_1 (mm)	457,71
	h_{st} (mm)	92,02
	l_{st} (mm)	0,00

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 22 Propiedades de la placa rigidizadora en la conexión BSEEP		
Propiedades del acero	Tipo	A 572 Gr 50
	Fy (MPa)	345
	Fu (MPa)	450
	Ry	1,1
Propiedades geométricas del rigidizador	h _{st} (mm)	92,08
	I _{st} (mm)	159,49
	ts (mm)	9,5

Fuente: Guía de diseño # 4 del AISC

Cuadro 23 Comparación entre los resultados de diseño del rigidizador entre la guía de diseño del AISC y la hoja de cálculo			
Criterio	Valor de referencia	Valor experimental	Diferencia
Relación h_{st}/t_s	9,67	9,67	0,00%
Relación $0,56 \sqrt{E/F_{ys}}$	13,5	13,48	0,15%

Fuente: propia

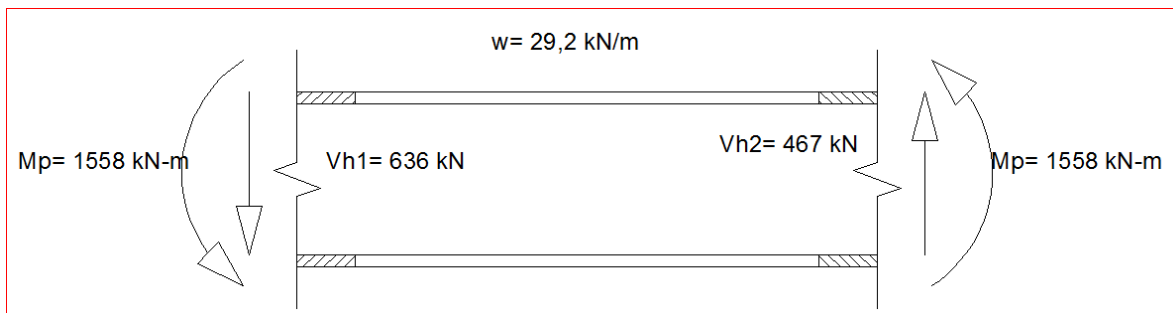
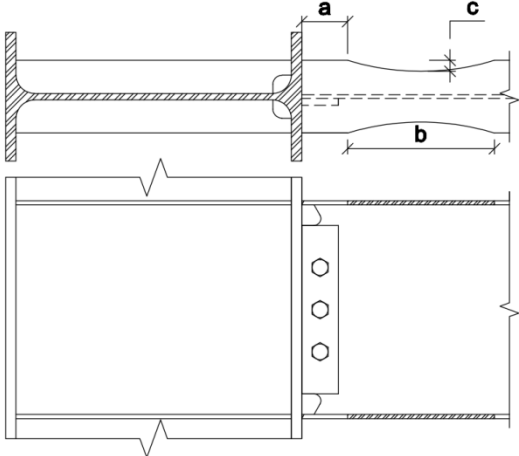


Figura 10. Diagrama de fuerzas en ala conexión RBS (Fuente: Design of reduced beam section (RBS) Moment Frame Connections)

Cuadro 24 Propiedades de las secciones en la conexión de placa de sección de viga reducida (RBS)			
Secciones de acero		Viga W24X117	Columna W14X311
Propiedades del acero	Tipo de acero	A 992	A 992
	Fy (MPa)	345	345 a
	Fu (MPa)	450	450
	Ry	1,1	1,1
Propiedades geométricas de sección	d (mm)	617	434
	t _w (mm)	14,00	35,8
	b _f (mm)	325	411
	t _f (mm)	21,6	57,40
	Z _x (mm ³ x 10 ³)	5.360	9.880

Fuente: Design of reduced beam section (RBS) Moment Frame Connections

Cuadro 25 Geometría de la conexión de sección de viga reducida (RBS)		
	Dimensiones	
	a (mm)	177,80
	b (mm)	482,60
	c (mm)	69,85
	Radio de corte	451,72

Fuente: Design of reduced beam section (RBS) Moment Frame Connections

Cuadro 26 Comparación entre los resultados de diseño de conexión de sección de viga reducida

Criterio	Valor de referencia	Valor experimental	Diferencia
Momento plastico efectivo - M_{pe} (kN-m)	2021,95	2032,6	0,53%
Momento en la cara de la columna M_f (kN-m)	1825,8	1820,6	0,28%
Cortante en la rotula plastica V_{rbs} (kN)	640	636,1	0,61%

Fuente: propia

En esta sección se presentan las figuras de la herramienta en Excel, el archivo se encuentra en el CD adjunto a este documento.

Conexión de sección de viga reducida (RBS)																																												
<p>Figura 1. Vista en planta y lateral de la conexión RBS</p>			Cargas de diseño								Criterio																																	
			M permanente = 1,00 kN m		M temporal = 1,00 kN m		M sismo = 1,00 kN m		V permanente = 1,00 kN		V temporal = 1,00 kN		V sismo = 1,00 kN																															
			Combinaciones								Mu (kN m)		Vu (kN)																															
			1) 1.4 CP								1,40		1,40		Relación viga-columna (marcos SMF)		Revisar																											
2) 1.2 CP + 1.6 CT								2,80		2,80		Resistencia por cortante en viga		Revisar																														
3) 1.05 CP + f CV + CS								2,55		2,55		Placa de continuidad		Revisar																														
4) 1.05 CP + f CT - CS								0,55		0,55		Diseño de la soldadura (cortante)		Revisar																														
5) 0.95 CP + CS								1,95		1,95		Relación claro-peralte		Revisar																														
6) 0.95 CP - CS								-0,05		-0,05		Revisión por flexión		Revisar																														
Mu = 2,80								Vu = 2,80		f = 0,50		Diseño de placa cortante		Revisar																														
Tipo de marco								<input checked="" type="radio"/> SMF <input type="radio"/> IMF				Simbología																																
Ubicación de la rotula plástica								S _{pl} = 450,0 mm				Criterio cumplido																																
Cortante en Rotula plástica								V _{h1} = 0,40 kN		V _{h2} = 0,50 kN		Criterio no cumplido																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Parametros de la conexión</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Lim inferior (mm)</th> <th>Valor (mm)</th> <th>Lim superior (mm)</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>103,5</td> <td>200,00</td> <td>155,25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>339,95</td> <td>500,00</td> <td>444,55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>20,7</td> <td>45,00</td> <td>51,75</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Radio de corte</td> <td></td> <td>716,94</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>															Parametros de la conexión						Lim inferior (mm)	Valor (mm)	Lim superior (mm)		a	103,5	200,00	155,25		b	339,95	500,00	444,55		c	20,7	45,00	51,75		Radio de corte		716,94		
Parametros de la conexión																																												
	Lim inferior (mm)	Valor (mm)	Lim superior (mm)																																									
a	103,5	200,00	155,25																																									
b	339,95	500,00	444,55																																									
c	20,7	45,00	51,75																																									
Radio de corte		716,94																																										
Datos de la conexión																																												
Viga										Placa de cortante, unión entre alma de la viga y placa																																		
Longitud de viga = 5,0 m																																												
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Z _x × 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{cf} (mm)	t _{cf} (mm)	A _g (mm ²)	h/ t _w	t _w (mm)		Dimensiones			Tipo de acero																															
W21X48	W530X72	1750	523	207	10,90	9100	53,60	8,89		ancho (mm)	largo (mm)	Espesor-t _{ps} (mm)																																
										102	510	18	A 36																															
Tipo de acero <input checked="" type="radio"/> ASTM A36 <table border="1"> <thead> <tr> <th>F_y (MPa)</th> <th>R_y</th> <th>F_u (MPa)</th> <th>E (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345</td> <td>1,1</td> <td>448</td> <td>200 000</td> </tr> </tbody> </table> <input checked="" type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60															F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	345	1,1	448	200 000																						
F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)																																									
345	1,1	448	200 000																																									
Columna										Pernos de placa cortante, unión de alma de la viga y placa																																		
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Z _x × 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{cf} (mm)	t _{cf} (mm)	A _g (mm ²)	r _y (mm)			Tipo de perno	Diametro (pulg)	Resistencia a cortante (kN)	Resistencia a tensión (kN)	Numero de pernos (n)																														
W30X116	W760X173	6190	762	267	21,60	22100	55,60			A 490	5/8	76,83	115,65	3																														
Tipo de acero <input type="radio"/> ASTM A36 <table border="1"> <thead> <tr> <th>F_y (MPa)</th> <th>R_y</th> <th>F_u (MPa)</th> <th>E (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>1,5</td> <td>400</td> <td>200 000</td> </tr> </tbody> </table> <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60										F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	250	1,5	400	200 000	Distancia al borde -L _c (mm) 253					Distancia entre pernos (mm) 64																					
F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)																																									
250	1,5	400	200 000																																									
KL = 8,0 m F _{cr} = 83,62 MPa										λ = 1,619 P _c = 1570,76 kN																																		

Figura 11. Herramienta de diseño de conexión de sección de viga reducida (Fuente: propia)

Conexión de placa de ala emperrada (BFP)

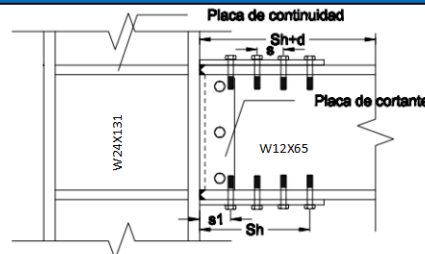


Figura 1. Vista lateral de la conexión BFP

Placa de continuidad			
Dimensiones			Acero
Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	
560	135	16	A 36

Parametros de la placa del ala de la conexión

s1	50,00 mm
s	25,00 mm
n	8

Cargas de diseño			
M permanente =	1,00 kN m	M temporal =	1,00 kN m
V permanente =	1,00 kN	V temporal =	1,00 kN

Combinaciones	Mu (kN m)	Vu (kN)
1) 1.4 CP	1,40	1,40
2) 1.2 CP + 1.6 CT	2,80	2,80
3) 1.05 CP + f CV + CS	2,05	2,05
4) 1.05 CP + f CT - CS	0,05	0,05
5) 0.95 CP + CS	1,95	1,95
6) 0.95 CP - CS	-0,05	-0,05

Mu =	2,80	Vu =	2,80
<input checked="" type="checkbox"/> SMF <input type="checkbox"/> IMF		f = 0,00	

Ubicación de la rotula plástica
 S_p = 125,0 mm

Cortante en Rotula plástica
 V_{rot} = 1,00 kN V_{rot} = 1,00 kN 1,00 kN

Criterio	
Revisión de zona de panel	Revisar
Relación viga-columna (marcos SMF)	Revisar
Resistencia por cortante en viga	Revisar
Placa de continuidad	Revisar
Diseño de la soldadura (cortante)	Revisar
Relación claro-portal	Revisar
Diseño de placa de ala	Revisar
Diseño de placa cortante	Revisar

Criterio cumplido
 Criterio no cumplido

Datos de la conexión

Viga								
		Longitud de viga =	5,0 m					
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Z _x x 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{bf} (mm)	t _{bf} (mm)	A _g (mm ²)	h/ t _w	t _w (mm)
W12X65	W310X97	1590	307	305	15,40	12300	24,90	9,91

Tipo de acero					
<input checked="" type="radio"/> ASTM A36	F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	R _t
	248	1,5	400	200 000	1,2
<input type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60					

Placa de cortante			
Dimensiones			Tipo de acero
ancho (mm)	largo (mm)	Espesor-t _{ps} (mm)	
60	300	16	A 36

Columna						
Se asume que hay un entrepiso de concreto						
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Z _x x 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{cf} (mm)	t _{cf} (mm)	A _g (mm ²)
W24X131	W610X195	6060	622	328	24,40	24900

Tipo de acero					
<input checked="" type="radio"/> ASTM A36	F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	R _t
	250	1,5	400	200 000	1,2
<input type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60					

KL =	2,5 m	λ =	0,373
F _{cr} =	182,93 MPa	P _u =	3871,71 kN

Pernos de placa cortante				
Tipo de perno	Diametro (pulg)	Resistencia a cortante (kN)	Resistencia a tensión (kN)	Numero de pernos (n)
A 490	3/4	110,64	166,36	3

Distancia al borde - L _c (mm)		Distancia entre pernos (mm)	
148		76	

Figura 12. Herramienta de diseño de conexión de placa emperrada (Fuente: propia)

Conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (WUF-W)

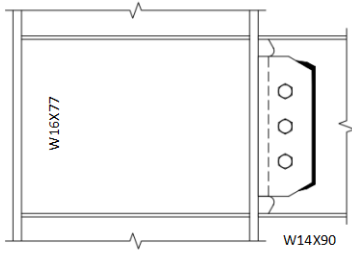


Figura 1. Vista lateral de la conexión WUF-W

Cargas de diseño						Criterio	
M permanente =	1,00 kN m	M temporal =	1,00 kN m	M sismo =	1,00 kN m		
V permanente =	1,00 kN	V temporal =	1,00 kN	V sismo =	1,00 kN		

Combinaciones			Mu (kN m)	Vu (kN)
1) 1.4 CP			1,40	1,40
2) 1.2 CP + 1.6 CT			2,80	2,80
3) 1.05 CP + f CV + CS			2,05	2,05
4) 1.05 CP + f CT - CS			0,05	0,05
5) 0.95 CP + CS			1,95	1,95
6) 0.95 CP - CS			-0,05	-0,05

Mu = 2,80
 Tipo de marco: ☒ SMF ☐ IMF

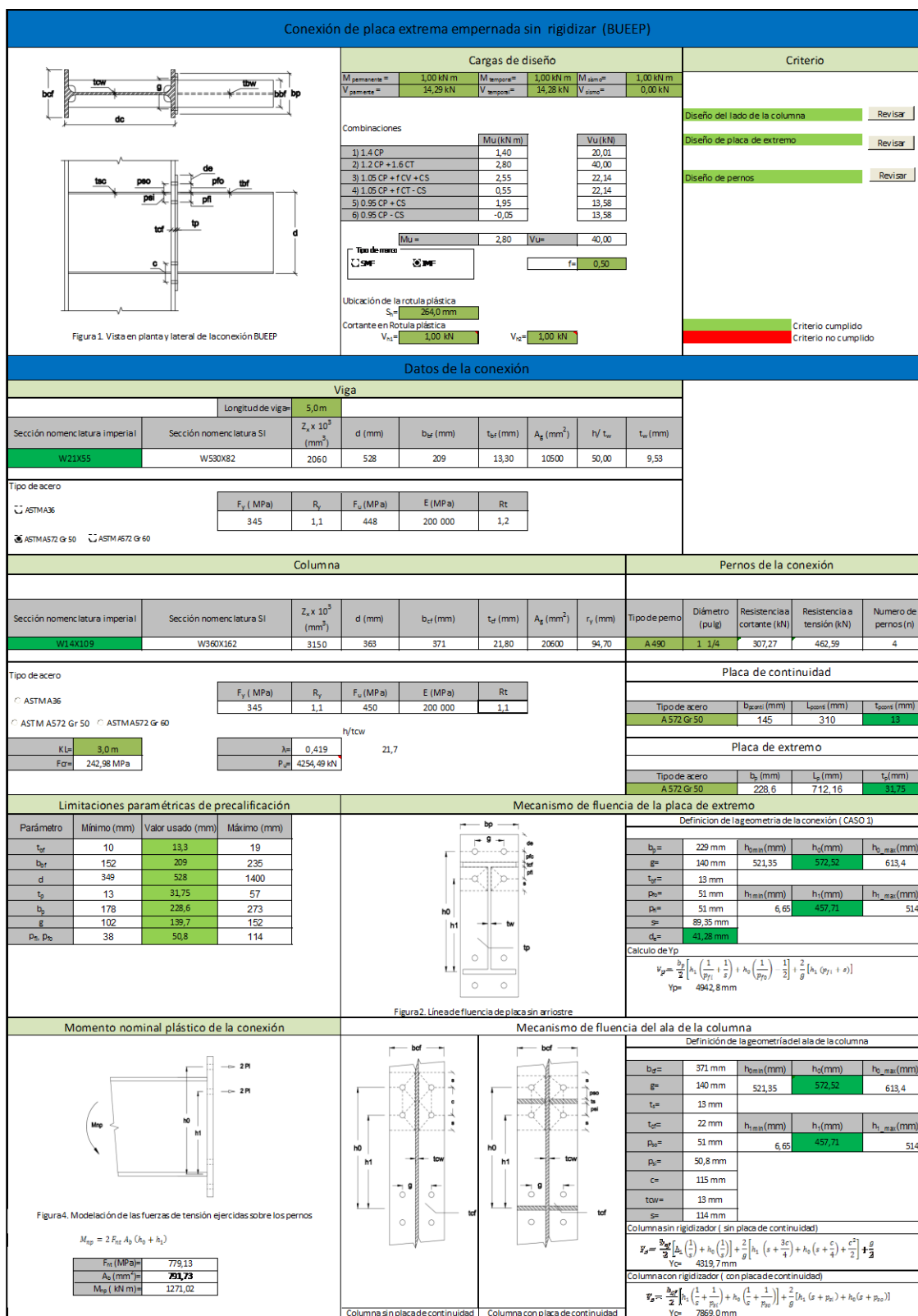
Vu = 2,80

Ubicación de la rotula plástica
 Sh = 0,00
 Cortante en Rotula plástica
 Vh1 = 1,00 kN Vh2 = 0,50 kN

Datos de la conexión															
Viga															
Longitud de viga =	5,0 m														
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Zx x 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{ef} (mm)	t _{ef} (mm)	A _g (mm ²)	h/ t _w								
W14X90	W360X134	2570	356	368	18,00	17100	25,90								
							t _w (mm)								
							11,20								
Tipo de acero: <input checked="" type="radio"/> ASTM A36 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60 <table border="1" style="margin-top: 5px; width: 100%;"> <thead> <tr> <th>F_y (MPa)</th> <th>R_y</th> <th>F_u (MPa)</th> <th>E (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>248</td> <td>1,5</td> <td>400</td> <td>200 000</td> </tr> </tbody> </table>								F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	248	1,5	400	200 000
F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)												
248	1,5	400	200 000												
Placa de cortante															
		Dimensiones			Tipo de acero										
		ancho (mm)	largo (mm)	espesor (mm)											
		52,5	350	19	A 36										

Columna							Pernos																
Sección nomenclatura imperial	Sección nomenclatura SI	Z _x x 10 ³ (mm ³)	d (mm)	b _{ef} (mm)	t _{ef} (mm)	A _g (mm ²)	r _y (mm)	Tipo de perno	Diametro (pulg)	Resistencia a cortante (kN)	Resistencia a tensión (kN)	Numero de pernos (n)											
W16X77	W410X114	2460	419	262	19,30	14600	62,70	A 325	7/8	120,36	180,59	3											
Tipo de acero: <input type="radio"/> ASTM A36 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 50 <input type="radio"/> ASTM A572 Gr 60 <table border="1" style="margin-top: 5px; width: 100%;"> <thead> <tr> <th>F_y (MPa)</th> <th>R_y</th> <th>F_u (MPa)</th> <th>E (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>414</td> <td>1,1</td> <td>517</td> <td>200 000</td> </tr> </tbody> </table>								F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)	414	1,1	517	200 000	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Distancia al borde - Lc (mm)</th> <th>Distancia entre pernos (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>172</td> <td>89</td> </tr> </tbody> </table>				Distancia al borde - Lc (mm)	Distancia entre pernos (mm)	172	89
F _y (MPa)	R _y	F _u (MPa)	E (MPa)																				
414	1,1	517	200 000																				
Distancia al borde - Lc (mm)	Distancia entre pernos (mm)																						
172	89																						
KL = 5,0 m		λ = 1,155																					
F _{cr} = 157,45 MPa		P _n = 1953,96 kN																					

Figura 13. Herramienta de diseño de conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (Fuente: propia)



Análisis de los resultados

En la elaboración de la hoja de diseño de conexiones se tomaron diferentes criterios para poder validar la conexión como un elemento estructural eficiente. Por ejemplo en la figura 10 muestra un ejemplo de diseño de la conexión de sección de viga reducida (RBS) donde en la parte superior izquierda se muestra un diagrama de la conexión con los parámetros que el usuario debe ingresar.

En la parte superior central se encuentra la sección donde se ingresan las cargas temporales, permanentes y de sismo que soporta la conexión, y sus combinaciones de diseño según el Código Sísmico de Costa Rica 2010.

Luego en la parte superior derecha hay una leyenda que dice criterio, la cual expresa los diferentes límites y configuraciones que la conexión debe tener para que sea resistente a las cargas definidas. El color verde en las celdas de criterio, significa que ha cumplido con esa especificación, caso contrario, estará en color rojo.

En la parte inferior de la hoja, se muestran los datos correspondientes a las propiedades geométricas y estructurales de la sección de la viga y columna que la conexión utiliza. Al mismo tiempo contiene información de las placas o pernos utilizados y su respectiva resistencia al cortante o al esfuerzo de tensión.

Al hacer clic en el botón de “revisar” se ingresa a una ventana que muestra información que el usuario debe ingresar para diseñar la conexión respectiva, la hoja se encargará de calcular y presentar los resultados correspondientes.

Por lo general en esa ventana se presenta el botón de “calcular” y el botón de “salir”. Si se sale de la ventana sin haber ingresado los datos necesarios la hoja dará un mensaje de alerta y notificará el error.

Las diferencias en los diseños de las conexiones BSEEP y BUEEP corresponden a valores percentiles entre 0 y 1.96 %, tal como se puede ver en los cuadros 18, 19, 20 y 2. Este error es causado por el redondeo al pasar de las unidades del sistema imperial al sistema internacional de unidades. En el diseño de la conexión RBS, se resultó con errores menores del 1%, eso en cuanto al cálculo de la capacidad de momento nominal de la conexión. Esto muestra la confiabilidad que la hoja de Excel demuestra respecto a la guía de diseño, la cual fue creada por el consejo educacional de acero estructural (SSEC).

Por medio de ese porcentaje bajo de error se puede confirmar que el resultado del diseño por medio de la hoja de Excel es confiable y efectivo.

La hoja de Excel cuenta con bases de datos de vigas y columnas utilizables que cumplan con el criterio de precalificación correspondiente de cada conexión. También se configuró diferentes tipos de acero, pernos, y espesores de placas para las conexión, de esta forma se logró que la hoja de cálculo sea funcional en diferentes escenarios posibles.

En cuanto los planos del prototipo académico, se confeccionó con secciones laminadas en caliente, que son comercializables en el país. Las soldaduras son con electrodos E70, y cada una de las conexiones cumple con las especificaciones del AISC. Sin embargo las conexiones no fueron diseñadas para ninguna carga en específica, sino que tienen como finalidad mostrar cual es la configuración necesaria en caso de que el prototipo fuera a construirse.

Conclusiones recomendaciones

y

Con la herramienta digital es posible confirmar que la conexión de placa empernada rigidizada y sin rigidizar y la conexión de sección de viga reducida (BSEEP , BUEEP y RBS) fue diseñada acorde con la metodología que establece el código sísmico de Costa Rica, y solo presentaron un error de menos del 2% con respecto a la guía de diseño # 4 del AISC y la guía del consejo educacional de acero estructural (SSEC).

Según el funcionamiento de la hoja de Excel, el diseño de las conexiones es un proceso iterativo que el usuario debe realizar hasta poder asegurar que la conexión no falle.

Se recomienda tener criterio al usar la hoja para un diseño estructural real, la hoja solamente ofrece una guía para el diseño, el ingeniero diseñador debe verificar para cada caso correspondiente si los valores presentados son los correctos.

Es recomendable usar la hoja con casos de construcciones y conexiones reales para poder darle una mejor validación a la herramienta.

En caso de usar la hoja para el diseño de conexiones BFP y WUF-W se debe tener una verificación adecuada, por motivos de limitación en el acceso de la información no se encontró ejemplos validos de diseño de esos tipos de conexiones precalificadas.

Los planos constructivos del prototipo de modelo didáctico de las conexiones muestran que se debe diseñar su cimiento dependiendo de las características y propiedades del lugar.

Apéndices

Simbología

A_g : Área transversal (mm^2)
 A_b : Área transversal de un perno (mm^2)
 b_c : Ancho de las alas de una columna (mm)
 b_{bf} : Ancho de las alas de la viga (mm)
 b_p : Ancho de placa de acero (mm)
 CE : Carga por empuje
 CP : Carga permanente o muerta
 C_{pr} : Factor para tomar en cuenta la resistencia de la conexión
 C_t : Factor usado en la ecuación 5.86
 CT : Carga temporal o viva
 CU : Carga última de diseño
 d : Peralte de la viga (mm)
 d_c : Peralte de la columna (mm)
 E : Módulo plástico de un material (MPa)
 f_1 : Factor de ocupación en caso de sismo
 f_R : Factor de reducción de carga temporal
 Fe : Esfuerzo elástico de pandeo (MPa)
 F_{Exxx} : Esfuerzo de tensión mínimo del metal de soldadura (MPa)
 F_{fu} : Fuerza factorizada en el ala de la viga
 F_{nv} : Resistencia nominal al cortante de un perno (MPa)
 F_{su} : Resistencia última requerida por el rigidizador.
 F_{yBM} : Esfuerzo de fluencia de material base en soldaduras de penetración completa (MPa)
 F_{yc} : Esfuerzo de fluencia de la columna (MPa)
 F_{yb} : Esfuerzo de fluencia de la viga (MPa)
 F_{yw} : Esfuerzo de fluencia del metal de soldadura (MPa)
 h : Distancia libre entre las alas de la columna
 g : Distancia horizontal entre pernos (mm)
 L_c : Distancia libre, en dirección de la fuerza entre el borde del agujero del perno y el borde del agujero adyacente o borde de la sección (mm)
 L_h : Distancia entre los dos puntos de una rótula plástica en una viga (mm)
 L_{st} : Longitud de placa rigidizadora (mm)
 L_w : Longitud de soldadura (mm)

M_{pr} : Máximo momento plástico probable en la rótula plástica (kN-m)
 M_{uv} : Momento adicional debido a la amplificación por cortante (KN-m)
 p_{fi} : Distancia vertical desde el interior del ala en tensión de la viga a la fila de pernos más cercana (mm)
 p_{fo} : Distancia vertical desde el exterior del ala en tensión de la viga a la fila exterior de pernos más cercana (mm)
 R_{yb} : Razón de esfuerzo de fluencia esperado de la viga
 R_{yc} : Razón de esfuerzo de fluencia esperado en la columna
 R_{bs} : Resistencia del perno a cortante simple (kN)
 S_h : Distancia desde la cara de la columna hasta la ubicación de la rótula plástica (m)
 t : Grosor de las alas de un perfil de ala ancha o perfil W (mm)
 t_{bf} : Grosor de las alas de la viga (mm)
 t_{bw} : Grosor del alma de la viga (mm)
 t_{cf} : Grosor de las alas de la columna (mm)
 t_e : Grosor de la garganta de soldadura (mm)
 t_s : Grosor de la placa rigidizadora (mm)
 V_h : Fuerza cortante ubicado en la rótula plástica (kN)
 V_u : Esfuerzo requerido de cortante (kN)
 Z_e : Módulo de sección efectivo en la rótula plástica (mm^3)
 Z_x : Módulo de sección en el eje "x" (mm^3)
 ΣM_{pc}^* : Suma de momentos de la columna por encima y por debajo de la junta que pasa por la línea central de la viga (kN-m)
 ΣM_{pb}^* : Suma de momentos en la viga, entre la intersección de las líneas de centro de la columna-viga y la rótula plástica
 ϕ_d : Factor de resistencia para estados límites dúctiles, $\phi_d = 1,00$
 ϕ_n : Factor de resistencia para estados límites no dúctiles, $\phi_d = 0.90$

Glosario

BSEEP: es la abreviatura de “Bolted stiffened extended end plate”, lo cual significa conexión de placa extrema emperrada rigidizada.

BUEEP: es la abreviatura de “Bolted unstiffened extended end plate”, lo cual significa conexión de placa extrema emperrada no rigidizada.

Carga de diseño: carga aplicada determinada por una combinación de carga por la metodología de factores de resistencia (LRFD).

Carga Factorizada: producto entre la carga nominal y un factor de carga.

Carga nominal: magnitud de carga especificada por un código de diseño.

Localización de la rótula plástica: ubicación en un ensamble de viga-columna donde la disipación de la energía inelástica es asumida que ocurre a través del desarrollo de la falla plástica.

Momento máximo probable en la rótula plástica: momento esperado desarrollado en la rótula plástica a lo largo del elemento, considerando el valor de la resistencia del material para un determinado tipo de acero.

Pandeo: estado límite del cambio súbito en la geometría de un elemento bajo carga crítica.

Pandeo local: estado límite de pandeo debido a la compresión en una sección transversal específica.

Placa de continuidad: consisten un rigidizador que va en la zona superior e inferior de la zona de panel, también se conocen como rigidizadores transversales.

RBS: es la abreviatura de “Reduced beam section”, lo cual significa conexión de sección de viga reducida.

Rigidizador: elemento estructural usualmente una placa unida a un miembro para distribuir carga, transmitir cortante o prevenir pandeo.

Ruptura por bloque cortante: Estado límite de la ruptura por tensión a lo largo de una línea de falla; fluencia o ruptura por cortante a lo largo de otra línea de falla.

Soldadura de penetración completa (CJP): soldadura de ranura en cual el metal soldado se extiende a través del grosor de la junta.

Zona de panel: Área del alma de una conexión viga-columna delimitada por la extensión de la viga y las alas de la columna a través de la conexión transmitiendo el momento mediante un panel cortante.

Anexos

Anexo 1. Diseño de conexión RBS

Anexo 2. Diseño de conexión BUEEP y BUEEP

Anexo 3. Propiedades geométricas de las secciones utilizadas

Anexo 4. Diseño de soldadura de ranura

Referencias

ANSI/AISC 360-05, **SPECIFICATION FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS**, American Institute of Steel Construction, 2005.

ANSI/AISC 358-05, **PREQUALIFIED CONNECTIONS FOR SPECIAL AND INTERMEDIATE STEEL MOMENT FRAMES FOR SEISMIC APPLICATIONS**, American Institute Of Steel Construction, 2005.

CFIA, **CÓDIGO DE SÍSMICO DE DE COSTA RICA 2010**, San José, Costa Rica, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2010.

AISC, **SEISMIC PROVISIONS FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS**, ANSI/AISC 341-05, Chicago, Illinois, USA, American Institute Of Steel Construction, 2005.

FEMA 350, **RECOMMENDED SEISMIC DESIGN CRITERIA FOR NEW STEEL MOMENT-FRAME BUILDINGS**, Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2000.

Vinnakota, S. (2006). **ESTRUCTURAS DE ACERO: COMPORTAMIENTO y LRFD** (Primera ed.) México DF: Mc-Graw Hill.

AISC, **DESIGN GUIDE 4: EXTENDED END-PLATE MOMENT CONNECTIONS: SEISMIC AND WIND APPLICATIONS**, Washington, USA, American Institute of Steel Construction, 2003.

SSEC, **DESIGN OF REDUCED BEAM SECTION (RBS) MOMENT FRAME CONNECTIONS**, California, USA, Structural Steel Educational Council, 1998.

AISC, **EXAMPLES V14: MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION 14TH**, Washington, USA, American Institute of Steel Construction, 2011.